

**FMCW RADAR APPARATUS**

Patent Number: JP11271432  
Publication date: 1999-10-08  
Inventor(s): ASANO KOICHI; OSHIMA SHIGEKI; HARADA TOMOYASU; YAMADA NAOYUKI  
Applicant(s): TOYOTA CENTRAL RES & DEV LAB INC  
Requested Patent: JP11271432  
Application Number: JP19980077982 19980325  
Priority Number(s):  
IPC Classification: G01S13/34; G01S13/50; G01S13/93  
EC Classification:  
Equivalents:

**Abstract**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To obtain an FMCW radar apparatus in which resolution enhancement and side lobe reduction are made compatible when a peak is detected on the basis of the frequency analyzed result of a beat signal.

**SOLUTION:** A received signal reflected by a target on the basis of a transmitted signal which is frequency modulated by triangular waves is detected by a detector 16, and a beat signal is generated. The beat signal is supplied to a signal processor 18. A peak frequency difference computing part 18g in the signal processor 18 computes the frequency difference between estimated peaks in very target corresponding to a distance and a speed which are estimated on the basis of the distance and the speed of the target which is detected in the past. Whether the estimated peaks are mutually brought close or separated is judged. A window function selection part 18f selects a window function for resolution enhancement when the estimated peaks are brought close to each other, and it selects window function for side lobe reduction when the estimated peaks are separated from each other. Thereby, the beat signal is fed.

Data supplied from the esp@cenet database - I2



(1)

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-271432

(43) 公開日 平成11年(1999)10月8日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>G 0 1 S 13/34  
13/50  
13/93

識別記号

F I

G 0 1 S 13/34  
13/50  
13/93A  
Z

審査請求 未請求 請求項の数1 OL (全 5 頁)

(21) 出願番号 特願平10-77982  
(22) 出願日 平成10年(1998)3月25日(71) 出願人 000003609  
株式会社豊田中央研究所  
愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番  
地の1  
(72) 発明者 浅野 孔一  
愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番  
地の1 株式会社豊田中央研究所内  
(72) 発明者 大島 繁樹  
愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番  
地の1 株式会社豊田中央研究所内  
(74) 代理人 弁理士 吉田 研二 (外2名)

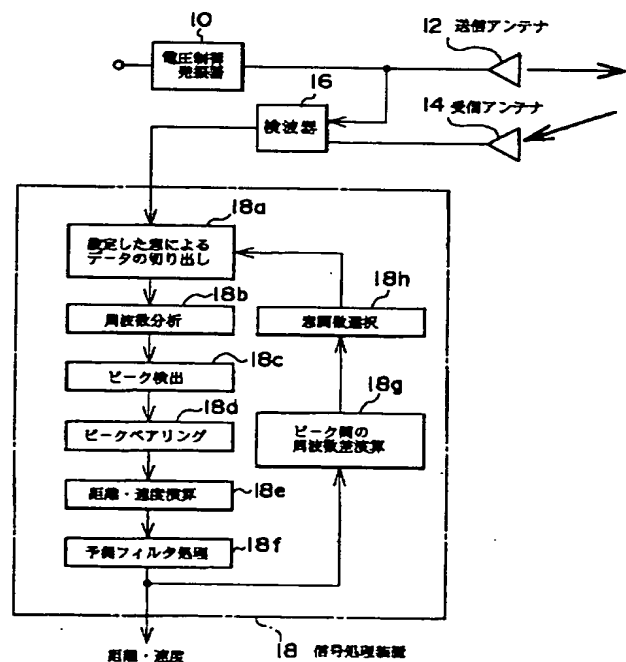
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 FMCWレーダ装置

(57) 【要約】

【課題】 FMCWレーダ装置において、ビート信号の周波数分析結果からピークを検出する際に分解能向上とサイドローブ低減を両立させる。

【解決手段】 三角波で周波数変調された送信信号に基づいてターゲットで反射した受信信号を検波器16で検波し、ビート信号を生成する。ビート信号は信号処理装置18に供給される。信号処理装置18のピーク周波数差演算部18gは、過去に検出されたターゲットの距離及び速度に基づいて予測された距離及び速度に対応するターゲット毎の予測ピークの周波数差を演算し、予測ピークが互いに接近しているか離れているかを判定する。窓関数選択部18fは、予測ピークが互いに接近している場合には分解能向上用の窓関数を選択し、互いに離れている場合にはサイドローブ低減用の窓関数を選択してビート信号を切り出す。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 周波数変調波を送信しターゲットからの反射波を受信して、その受信信号を送信信号に基づいて検波することにより得られるビート信号を周波数分析し、得られるピーク周波数からターゲットの距離及び速度を検出するFMCWレーダ装置であって、過去に検出されたターゲットの距離及び速度に基づいてターゲットの距離及び速度を予測する予測フィルタと、予測された距離及び速度に対応する複数のターゲットのピーク周波数が互いに接近する場合には分解能を向上させる第1の窓関数を用い、前記ピークが互いに離れている場合にはサイドローブを低減する第2の窓関数を用いてビート信号を離散化し周波数分析する周波数分析手段と、

【発明の詳細な説明】

【0001】

$$R = \{c / (8 f_m \Delta f)\} \cdot (f_{b1} + f_{b2}) \quad \dots (1)$$

【数2】

$$V = \{ (c / (4 f_0)) \} \cdot (f_{b1} - f_{b2}) \quad \dots (2)$$

により距離Rと速度Vを検出することができる。但し、 $f_m$ は繰り返し周波数、 $\Delta f$ は周波数変移幅、 $c$ は光速、 $f_0$ は中心周波数である。

【0003】このように、FMCWレーダ装置では、ビート信号の周波数分析を行い、その分析結果からターゲットに対するピークベアを検出する必要がある。この際、周波数分析の手段としては、連続的なビート信号をサンプリングして離散的な信号として取り込み、その離散信号に対して離散的なフーリエ変換を行う方法が用いられている。そして、連続的なビート信号の一部を離散的な信号として切り出す際には、その後の周波数分析結果におけるサイドローブや分解能を考慮して種々の窓が用いられる。

【0004】なお、窓関数を用いた切り出しについては、例えば「On the Use of Windows for Harmonic Analysis with the Discrete Fourier Transform」Fredric J Harris, Proceedings of IEEE, vol. 66 No.1, pp51-83等に記載されている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】ビート信号の周波数分析結果からピーク（より詳しくは上りフェーズと下りフェーズのピークベア）を確実に検出するためには、サイドローブを低減できるような窓（例えばKaiser-BesselやBlackman-Harris）を用いる方が好ましい。一方で、特に、FMCWレーダ装置を自動車などの車両に搭載する場合、複数のターゲットが近接して存在する場合もあり、周波数分析結果におけるピーク周波数も互いに接近することから、サイドローブの低減よりもむしろ分解能の向上が望まれる場合が生じる。

【0006】しかしながら、サイドローブの低減と分解

【発明の属する技術分野】本発明はFMCWレーダ装置、特にビート信号を周波数分析する際の窓関数の設定に関する。

【0002】

【従来の技術】従来より、送信波を例えば三角波で周波数変調してターゲットに向けて送信し、受信波を送信波に基づいて検波してビート信号を生成し、ビート信号を周波数分析し、周波数上昇区間（上りフェーズ）と周波数下降区間（下りフェーズ）におけるピークベアからターゲットまでの距離と速度を検出するFMCWレーダ装置が知られている。具体的には、ビート信号の上りフェーズにはビート周波数（送信周波数と受信周波数の差の周波数） $f_b$ にドブラ周波数 $f_d$ が加算され、下りフェーズにはビート周波数にドブラ周波数 $f_d$ が減算されるので、上りフェーズのピーク周波数 $f_{b1}$ と下りフェーズのピーク周波数 $f_{b2}$ から、

【数1】

能の向上という相反する特性を同時に満足できる窓は実現できないので、分解能向上あるいはサイドローブ低減のいずれかを犠牲にすることになり、ターゲットのピークを確実に検出することができない問題があった。

【0007】本発明は、上記従来技術の有する課題に鑑みなされたものであり、その目的は、分解能の向上及びサイドローブの低減を同時に図ることができ、もってターゲットのピークを確実に検出して距離及び速度を検出することができるFMCWレーダ装置を提供することにある。

【0008】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明は、周波数変調波を送信しターゲットからの反射波を受信して、その受信信号を送信信号に基づいて検波することにより得られるビート信号を周波数分析し、得られるピーク周波数からターゲットの距離及び速度を検出するFMCWレーダ装置であって、過去に検出されたターゲットの距離及び速度に基づいてターゲットの距離及び速度を予測する予測フィルタと、予測された距離及び速度に対応する複数のターゲットのピーク周波数が互いに接近する場合には分解能を向上させる第1の窓関数を用い、前記ピークが互いに離れている場合にはサイドローブを低減する第2の窓関数を用いてビート信号を離散化し周波数分析する周波数分析手段とを有することを特徴とする。

【0009】ピークを検出する際には、まず連続的なビート信号を窓関数を用いて離散化し、この離散化信号を周波数分析して検出する。このとき、従来のように窓関数を固定的に用いるのではなく、過去の検出結果から次の処理タイミングにおける複数のターゲットに対応する

予測ピーク周波数を算出し、この予測ピーク周波数の接近状況に応じて窓関数を使い分ける、すなわち予測ピーク周波数が接近している場合には各ピークを確実に分離して検出すべく分解能を優先させた窓関数を用いるとともに、予測ピーク周波数が互いに離れている場合にはピークのみを検出すべくサイドローブ低減を優先させた窓関数を用いてビート信号を離散化することで、分解能向上とサイドローブ低減を両立させることができる。従って、本発明によれば、複数のターゲットが接近して存在する場合においても、サイドローブを低減しつつ確実に各ターゲットのピークを検出することができ、各ターゲットの距離及び速度を検出することができる。

【0010】

【発明の実施の形態】以下、図面に基づき本発明の実施形態について説明する。

【0011】＜第1実施形態＞図1には本実施形態の構成ブロック図が示されている。本実施形態のFMCWレーダ装置は、電圧制御発振器10、送信アンテナ12、受信アンテナ14、検波器16及び信号処理装置18を含んで構成されている。

【0012】電圧制御発振器10は、送信波を周波数変調するもので、例えば三角波で周波数変調し、送信波に上りフェーズと下りフェーズを生成する。図2には、電圧制御発振器10の出力電圧と時間との関係が示されている。図において、横軸は時間、縦軸は電圧を示しており、時間とともに電圧が増大する（周波数が増大する）期間が上りフェーズ、時間とともに電圧が減少する（周波数が減少する）期間が下りフェーズである。

【0013】送信アンテナ12及び受信アンテナ14は、それぞれ三角波でFM変調した信号をターゲットに向けて送信し、ターゲットから反射した信号を受信するもので、例えば車両の前面に搭載することができる。送信波の一部及び受信アンテナで受信した信号は、検波器16に供給される。

【0014】検波器16は、送信信号に基づいて受信信号を検波し、送信周波数と受信周波数の差の周波数成分を有するビート信号を生成して信号処理装置18に供給する。

【0015】信号処理装置18は、ビート信号からピークペアを検出してターゲットまでの距離及び速度を検出するもので、機能ブロックとしてはデータ切り出し部18a、周波数分析部18b、ピーク検出部18c、ピークベアリング部18d、距離・速度演算部18e、予測フィルタ処理部18f、ピーク周波数差演算部18g及び窓関数選択部18hから構成される。

【0016】データ切り出し部18aは、検波器16から供給された連続的なビート信号をサンプリングし、その時系列の離散信号から所定の部分を後述の方法で設定された窓関数を用いて切り出す。切り出した信号は、周波数分析部18bに供給する。周波数分析部18b

は、切り出された信号を複素FFTなどを用いて周波数分析し、適当な周波数間隔（周波数bin）毎に複素振幅（電圧）を求める。図3には、周波数分析結果の一例が示されている。図において、横軸は周波数、縦軸は電圧であり、適当な周波数間隔で離散化されている。図では、一例として2つのターゲットが存在する場合の上りフェーズと下りフェーズのピークを示している。

【0017】ピーク検出部18cは、周波数分析部18bから出力された周波数分析結果（周波数スペクトル）からピーク（具体的にはピークを示すbin番号及びそのbinの複素振幅値）を検出する。なお、ピーク検出は、例えば閾値を用いて閾値以上の値を有するものを抽出することで実行できる。

【0018】ピークベアリング部18dは、上りフェーズと下りフェーズにおけるピークの組み合わせを決定するもので、このピークの組み合わせ（ピークペア）を距離・速度演算部18eに出力する。

【0019】距離・速度演算部18eは、ピークベアリング部18dから供給されたピークペアに基づいてターゲットまでの距離と速度を上記の（1）式及び（2）式を用いて演算する。得られた距離及び速度は、予測フィルタ処理部18fに出力する。予測フィルタ処理部18fは、得られた距離及び速度データに対して予測処理を施し、現時点におけるターゲットの真の距離及び速度を算出して出力する。また、距離・速度演算部18eから得られた距離・速度データ（過去のデータ）に基づいて次の処理タイミングにおけるターゲットの距離及び速度データを予測し、この予測距離及び予測速度に対応するピーク周波数を算出する。ピーク周波数は、上記の

（1）式及び（2）式を用いて算出することができる。そして、得られたピーク周波数を周波数差演算部18gに出力する。なお、予測フィルタとしては、例えばカルマンフィルタや $\alpha$ - $\beta$ フィルタなどを用いることができる。

【0020】ピーク周波数差演算部18gは、複数のターゲットに対応する予測ピーク周波数間の差を演算し、複数のターゲットに対応するピークが互いに接近しているか、あるいは互いに離れているかを判定する。具体的には、周波数差を所定値と大小比較し、所定値以内であれば互いに接近していると判定し、所定値を超えている場合には互いに離れていると判定する。得られた判定結果を窓関数選択部18hに出力する。

【0021】窓関数選択部18hは、周波数差演算部18gからの判定結果に基づいてデータ切り出し部18aで用いる窓関数を選択する。具体的には、窓関数として分解能向上用の第1窓関数（例えば、Rectangleなど）とサイドローブ低減用の第2窓関数（例えば、Kaiser-Bessel や Blackman-Harrisなど）を用意し、複数のターゲットに対応するピークが互いに接近している場合にはこれらのピークを分離して確実に検出すべく第1窓関数

を選択してデータ切り出し部18aに供給し、複数のターゲットに対応するピークが互いに離れている場合にはサイドローブを低減してピークを確実に検出するべく第2窓関数を選択してデータ切り出し部18aに供給する。

【0022】従って、データ切り出し部18aでは、ターゲットの存在状況に応じて適応的に窓関数を用いることができ、分解能の向上とサイドローブの低減を図ってターゲットのピークを確実に検出することができる。

【0023】＜第2実施形態＞図4には、本実施形態の構成ブロック図が示されている。本実施形態のFMCWレーダ装置は、図1と同様に電圧制御発振器10、送信アンテナ12、受信アンテナ14、検波器16及び信号処理装置18を含んで構成されている。

【0024】電圧制御発振器10は、送信波を周波数変調するもので、例えば三角波で周波数変調し、送信波に上りフェーズと下りフェーズを生成する。

【0025】送信アンテナ12及び受信アンテナ14は、それぞれ三角波でFM変調した信号をターゲットに向けて送信し、ターゲットから反射した信号を受信するもので、例えば車両の前部に搭載することができる。送信波の一部及び受信アンテナで受信した信号は、検波器16に供給される。

【0026】検波器16は、送信信号に基づいて受信信号を検波し、送信周波数と受信周波数の差の周波数成分を有するビート信号を生成して信号処理装置18に供給する。

【0027】信号処理装置18は、ビート信号からピークペアを検出してターゲットまでの距離及び速度を検出するもので、機能ブロックとしては第1窓関数（分解能優先の窓関数）を用いたデータ切り出し部18a1、第2窓関数（サイドローブ優先）を用いたデータ切り出し部18a2、周波数分析部18b1、18b2、ピーク検出部18c1、18c2、ピークベアリング部18d、距離・速度演算部18e、予測フィルタ処理部18f及びピーク周波数差演算部18gから構成される。

【0028】第1窓関数を用いたデータ切り出し部18a1は、連続的なビート信号を入力し、第1実施形態で用いられた第1窓関数、すなわち分解能向上を優先させるための窓関数を用いて離散的な信号を生成するもので、切り出した信号を周波数分析部18b1に出力する。

【0029】第2窓関数を用いたデータ切り出し部18a2は、連続的なビート信号を入力し、第1実施形態で用いられた第2窓関数、すなわちサイドローブ低減を優先させるための窓関数を用いて離散的な信号を生成するもので、切り出した信号を周波数分析部18b2に出力する。

【0030】周波数分析部18b1及び18b2は、第1実施形態における周波数分析部18bと同様に離散的信号を複素FFT等を用いて周波数分析し、その結果

（周波数スペクトル）を出力する。

【0031】ピーク検出部18c1は、ピークが接近する周波数範囲で周波数スペクトルからピークを検出する。また、ピーク検出部18c2は、ピークが離れている周波数範囲で周波数スペクトルからピークを検出する。ピークが接近しているか離れているかは、周波数演算部18gからの判定結果に基づいて判断される。

【0032】ピークベアリング部18dは、ピーク検出部18c1及び18c2で検出されたピークそれぞれについて上りフェーズと下りフェーズにおけるピークの組み合わせを決定し、距離・速度演算部18eに出力する。

【0033】距離・速度演算部18eは、ピークベアリング部18dから供給されたピークペアに基づいてターゲットまでの距離と速度を上記の（1）式及び（2）式を用いて演算する。得られた距離及び速度は、予測フィルタ処理部18fに出力する。予測フィルタ処理部18fは、得られた距離及び速度データに対して予測処理を施し、現時点におけるターゲットの真の距離及び速度を算出して出力する。また、距離・速度演算部18eから得られた距離・速度データ（過去のデータ）に基づいて次の処理タイミングにおけるターゲットの距離及び速度データを予測し、この予測距離及び予測速度に対応するピーク周波数を算出する。ピーク周波数は、上記の（1）式及び（2）式を用いて算出することができる。そして、得られたピーク周波数をピーク周波数差演算部18gに出力する。

【0034】ピーク周波数差演算部18gは、複数のターゲットに対応する予測ピーク周波数間の差を演算し、複数のターゲットに対応するピークが互いに接近しているか、あるいは互いに離れているかを判定する。具体的には、周波数差を所定値と大小比較し、所定値以内であれば互いに接近していると判定し、所定値を超えている場合には互いに離れていると判定する。そして、ターゲットのピークが接近していると判定された周波数範囲及びターゲットのピークが離れていると判定された周波数範囲をそれぞれピーク検出部18c1及び18c2に供給する。ピーク検出部18c1及び18c2では、既述したように、ピーク周波数差演算部18gから供給された周波数データに基づいてそれぞれピークを検出する。

【0035】このように、本実施形態では過去に検出されたターゲットの距離及び速度から予測フィルタ処理により次の処理タイミングにおけるターゲットの距離及び速度を算出し、これに対応する予測ピーク周波数が互いに接近する周波数範囲では分解能を向上できる窓関数を用いた周波数分析結果からピークを検出するとともに、互いに離れている周波数範囲ではサイドローブを低減できる窓関数を用いた周波数分析結果からピークを検出するので、ターゲットが接近して存在する場合でも、サイドローブを低減しつつ確実にターゲットのピークを検出

してその距離及び速度を検出することができる。

【0036】なお、上記第1実施形態及び第2実施形態では、分解能向上用の第1窓関数とサイドロープ低減用の第2窓関数の2つの窓関数を用いているが、必要に応じて中間の性質を有する第3、さらには第4の窓関数を用い、予測ピーク周波数の接近状況に応じてこれらを使い分けることも可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第1実施形態の構成ブロック図であ

る。

【図2】 周波数変調の説明図である。

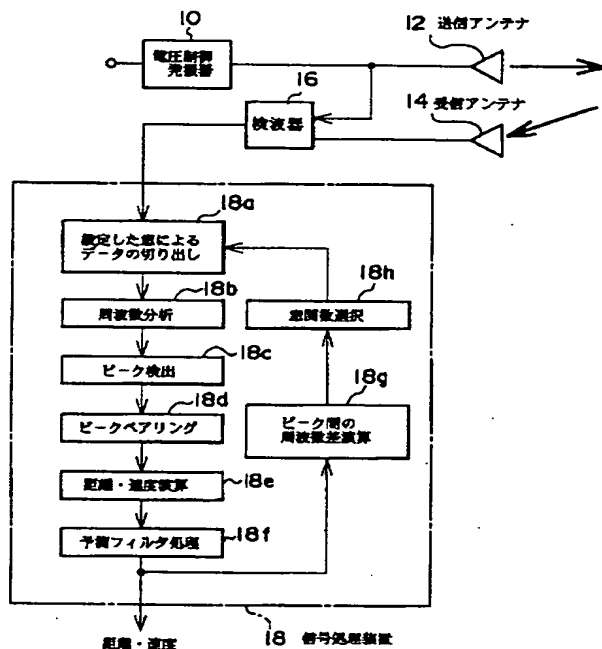
【図3】 周波数分析説明図である。

【図4】 本発明の第2実施形態の構成ブロック図である。

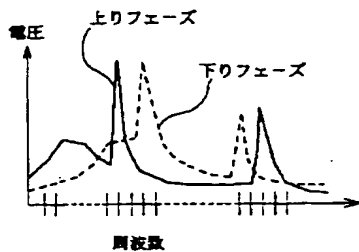
【符号の説明】

10 電圧制御発振器、12 送信アンテナ、14 受信アンテナ、16 検波器、18 信号処理装置。

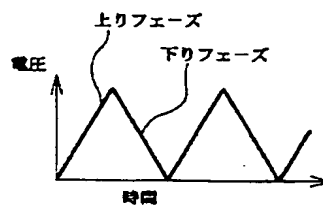
【図1】



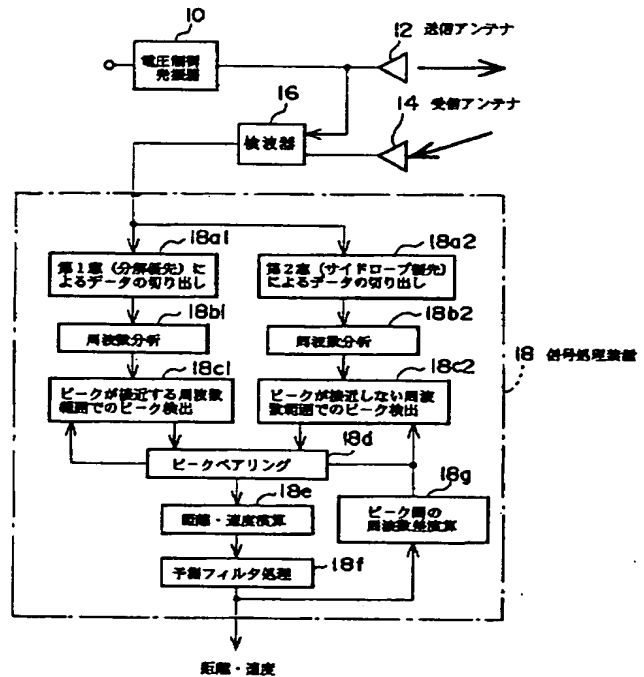
【図3】



【図2】



【図4】



フロントページの続き

(72) 発明者 原田 知育

愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番  
地の1 株式会社豊田中央研究所内

(72) 発明者 山田 直之

愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番  
地の1 株式会社豊田中央研究所内

